

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 844 876

②1 N° d'enregistrement national : 02 11725

⑤1 Int Cl<sup>7</sup> : G 01 L 5/24

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 23.09.02.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 26.03.04 Bulletin 04/13.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : ELECTRICITE DE FRANCE SER-  
VICE NATIONAL — FR.

⑦2 Inventeur(s) : FRANCOIS DANIEL.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤4 PROCEDE ET DISPOSITIF DE CONTROLE DE SERRAGE PAR ULTRASONS.

⑤7 L'invention propose un procédé de contrôle du serrage d'une pièce par ultrasons, comprenant les étapes consistant à :

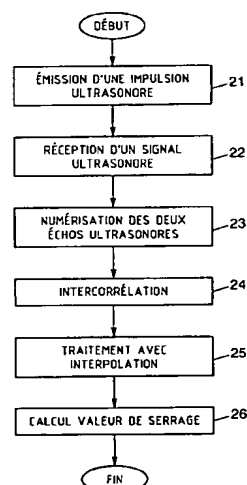
a) émettre (21) au moins une impulsion ultrasonore incidente dans la pièce;

b) recevoir (22) un signal ultrasonore comprenant au moins un premier écho (31) et un second écho (32) en retour;

c) numériser (23) ledit signal ultrasonore à une fréquence d'échantillonnage déterminée, puis définir deux fenêtres temporelles déterminées (41,42) du signal ultrasonore numérisé, de manière à produire un premier signal (S1n) numérique et un second signal numérique (S2n) correspondant respectivement audit premier écho et audit second écho;

d) traiter (24) lesdits premier et second signaux numériques de manière à produire une fonction d'intercorrélation entre ledit premier écho et ledit second écho;

e) traiter (25) la fonction d'intercorrélation par interpolation non linéaire au voisinage du maximum de ladite fonction, puis par détermination du maximum de la fonction d'intercorrélation ainsi interpolée, pour servir de base au calcul (26) de la valeur de serrage de la pièce.



FR 2 844 876 - A1



## PROCEDE ET DISPOSITIF DE CONTROLE DE SERRAGE PAR ULTRASONS

L'invention se rapporte au contrôle de serrage d'une pièce par ultrasons.

Elle trouve des applications, notamment, dans les appareils de mesure pour le contrôle ultrasonore du serrage d'assemblages boulonnés, tels que des  
5 goujons et des pièces d'ancrage, pour les installations de génie civil, des centrales nucléaires, hydrauliques, ou autre, etc.

Le principe du contrôle consiste à exploiter le temps de propagation d'une onde ultrasonore dans une pièce de serrage qui dépend de la longueur initiale (avant serrage) de cette pièce de serrage et de son allongement dû au  
10 serrage, mais aussi de la vitesse de l'onde ultrasonore, elle même dépendante de la contrainte due au serrage.

En réalisant la mesure avant et après le serrage on peut déduire une valeur de serrage grâce à l'établissement préalable d'une droite d'étalonnage permettant de corrélérer les deux paramètres : temps de propagation et valeur de  
15 serrage.

En pratique, la mesure consiste à émettre une impulsion ultrasonore depuis l'une des extrémités (la plus accessible) de la pièce et à recevoir un ou plusieurs échos ultrasonores résultant de la réflexion de l'impulsion ultrasonore émise sur l'autre extrémité de la pièce.

La mesure de temps de propagation ou temps de vol (en anglais « Time Of Flight », ou TOF) peut être effectuée entre l'impulsion ultrasonore émise et le premier écho de réflexion sur l'extrémité opposée de la pièce. Néanmoins, cette mesure est plus juste et reproductible si elle est réalisée entre deux ou plusieurs échos de réflexions successives entre les deux  
20 extrémités de la pièce.

La mesure de temps de propagation d'onde entre deux échos impulsionsnels peut être réalisée soit par un seuil, soit au passage par zéro soit encore par intercorrélation. L'expérience a montré que ce dernier mode de mesure est généralement le plus fiable et le moins dépendant de l'opérateur.

Par ailleurs, la méthode de contrôle de serrage par ultrasons nécessite  
30 une résolution de la mesure de temps de l'ordre de la nano-seconde, ce qui imposerait un dispositif de numérisation (conversion analogique-numérique)

fonctionnant à une fréquence d'échantillonnage de 1GHz (giga-hertz). Le coût de ce type de dispositif est très élevé. Aussi, pour éviter son usage tout en permettant la résolution de 1 ns (nano-seconde), une technique de mesure spécifique est requise.

5 Du document FR-A-2 655 144, il est connu un appareil de contrôle de serrage d'une pièce par ultrasons, comportant :

- des moyens pour émettre des impulsions récurrentes périodiques dans ladite pièce,

- des moyens pour recueillir des signaux en retour,

10 - des moyens de mesure du temps d'apparition d'au moins un desdits signaux en retour par rapport à un événement antérieur, ces moyens comportant des moyens de repérage d'un premier et d'un second écho en retour, et

- des moyens de calcul pour en déduire la valeur de serrage de la pièce.

15 De plus, les moyens de mesure comportent des moyens d'échantillonnage desdits échos, commandés par une ligne à retard, de manière à échantillonner l'ensemble dudit premier écho et dudit second écho sur plusieurs récurrences successives ; et les moyens de mesure comportent des moyens d'intercorrélation entre lesdits premier et second écho

20 échantillonnés, pour servir de base au calcul de la valeur du serrage de la pièce.

Dans cet appareil, les moyens d'échantillonnage produisent successivement des échantillons du signal ultrasonore associés à plusieurs récurrences successives des échos, avec un décalage dans le temps des

25 instants d'échantillonnage à chaque répétition de l'échantillonnage, ce qui permet d'obtenir un effet comparable à un sur-échantillonnage. On peut donc en théorie obtenir une résolution de la mesure de temps meilleure (plus fine) que celle résultant de la fréquence d'échantillonnage utilisée.

Ainsi qu'il est toutefois rapporté dans le document FR-A-2 708 102

30 (voir page 2, lignes 15-34) à propos de cet appareil, le décalage dans le temps des instruments d'échantillonnage par une ligne à retard présente, en pratique,

un manque de précision dès lors que la fréquence d'échantillonnage est élevée.

C'est pourquoi, dans ledit document FR-A-2 708 102, il est proposé un appareil de contrôle de serrage d'une pièce par ultrasons, comportant :

- 5           - un émetteur de signaux ultrasonores commandé par un ensemble d'émission,
- un récepteur de signaux ultrasonores envoyant les signaux dans un ensemble de réception comportant un échantillonneur,
- des moyens d'analyse des signaux échantillonnés pour servir de base
- 10       au calcul de la valeur de serrage de la pièce,
- des moyens pour introduire un décalage dans le temps à chaque répétition de l'échantillonnage,

suivant lequel lesdits moyens de décalage consistent en un générateur de retard disposé dans l'ensemble d'émission.

- 15       Le problème technique soulevé par rapport au premier document mentionné est ainsi résolu par la caractéristique consistant en un générateur de retard disposé dans l'ensemble d'émission qui commande l'émetteur de signaux ultrasonores. Dit autrement, les instants d'échantillonnage des signaux ultrasonores reçus ne sont pas décalés comme dans ledit premier document,
- 20       mais ce sont les signaux ultrasonores émis qui sont retardés afin de créer un décalage temporel relatif.

- 25       Néanmoins, le principe même de ce décalage temporel, qu'il soit mis en œuvre à l'émission ou à la réception, induit un retard dans l'acquisition des signaux ultrasonores échantillonnés. En effet, si la fréquence d'échantillonnage réelle est égale à 100 MHz (méga-hertz) en sorte que le pas de numérisation réel est égal à 10 ns, il faut effectuer dix répétitions de l'échantillonnage, pour dix récurrences successives de l'émission dans la pièce (i.e., pour dix impulsions ultrasonores respectives), pour atteindre une résolution de la mesure de temps égale à 1 ns.

L'invention vise à remédier aux inconvénients de l'art antérieur précités.

Un premier aspect de l'invention concerne ainsi un procédé de contrôle du serrage d'une pièce par ultrasons, comprenant les étapes consistant à :

- 5           a) émettre au moins une impulsion ultrasonore incidente dans la pièce ;
- b) recevoir un signal ultrasonore comprenant au moins un premier écho et un second écho en retour ;

- c) numériser ledit signal ultrasonore à une fréquence d'échantillonnage déterminée, puis définir deux fenêtres temporelles déterminées du signal ultrasonore numérisé de manière à produire un premier signal numérique et un second signal numérique correspondant respectivement audit premier écho et audit second écho ;

- d) traiter lesdits premier et second signaux numériques de manière à produire une fonction d'intercorrélation entre ledit premier écho et ledit second écho ;

- e) traiter la fonction d'intercorrélation par interpolation non linéaire au voisinage du maximum de ladite fonction, puis par détermination du maximum de la fonction d'intercorrélation ainsi interpolée, pour servir de base au calcul d'une valeur de serrage de la pièce.

- 20           Un second aspect de l'invention concerne un appareil de contrôle du serrage d'une pièce par ultrasons, comprenant :

- a) des moyens d'émission pour émettre au moins une impulsion ultrasonore incidente dans la pièce ;

- b) des moyens de réception pour recevoir un signal ultrasonore comprenant au moins un premier écho et un second écho en retour ;

- c) des moyens de numérisation pour numériser ledit signal ultrasonore à une fréquence d'échantillonnage déterminée, et des moyens pour définir deux fenêtres temporelles déterminées du signal ultrasonore numérisé, de manière à produire un premier signal numérique et un second signal numérique correspondant respectivement audit premier écho et audit second écho ;

d) des premiers moyens de traitement pour traiter lesdits premier et second signaux numériques de manière à produire une fonction d'intercorrélation entre ledit premier écho et ledit second écho ;

5 e) des seconds moyens de traitement pour traiter la fonction d'intercorrélation par interpolation non linéaire au voisinage du maximum de ladite fonction, puis par détermination du maximum de la fonction d'intercorrélation ainsi interpolée, pour servir de base au calcul d'une valeur de serrage de la pièce.

10 L'interpolation de la fonction d'intercorrélation, qui permet de sur-échantillonner cette fonction, permet une détection du maximum de cette fonction sur la base d'un pas d'échantillonnage plus petit que celui résultant de l'échantillonnage du signal ultrasonore. La résolution de la mesure du temps de vol est donc améliorée, sans emploi d'un échantillonneur coûteux et sans modification de l'architecture de l'appareil.

15 Avantageusement, l'invention est mise en œuvre de manière essentiellement logicielle.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- 20 - la figure 1 est un schéma synoptique d'un appareil selon l'invention ;
- la figure 2 est un diagramme d'étapes d'un procédé selon l'invention ;
- la figure 3 est un graphe illustrant un échogramme en mode A
- 25 d'un signal ultrasonore reçu ;
- la figure 4 et la figure 5 sont des graphes illustrant des signaux numériques correspondant respectivement à un premier et à un second échos contenus dans ledit signal ultrasonore reçu ;
- la figure 6 est un graphe illustrant la fonction d'intercorrélation
- 30 brute entre les échos représentés aux figures 4 et 5 ; et,
- la figure 7 est un graphe illustrant la fonction d'intercorrélation interpolée, au voisinage du maximum.

L'invention est décrite ci-après dans son application à la mesure de la valeur de serrage (effort, contrainte, allongement....) d'un boulon constitué d'un goujon et d'un écrou, du genre convenant, par exemple, pour l'ancrage de parties constitutives d'une centrale nucléaire. Dans ce type d'application, le  
5 goujon peut avoir une longueur qui atteint voire dépasse les deux mètres et un diamètre supérieur à 100 millimètres. Une telle pièce est composée d'un matériau métallique, tel que de l'acier correctement traité.

Le serrage d'un boulon entraîne un allongement de ce dernier (loi de Hooke). Lors d'un contrôle par ultrasons, la contrainte due au serrage du  
10 boulon produit une diminution de la vitesse de l'onde ultrasonore (loi de l'acoustoélasticité). Ces deux phénomènes concomitants se traduisent par une augmentation du temps de propagation de cette onde lorsque le serrage du boulon croît. L'invention concerne plus particulièrement la mesure précise du temps de propagation d'onde ultrasonore dans le boulon (ou temps de vol),  
15 cette grandeur pouvant directement être reliée à une valeur de serrage. Dit autrement, l'invention permet de calculer le temps de vol précisément, ce temps de vol servant au calcul de la valeur de serrage.

La figure 1 illustre de façon schématique un appareil selon l'invention.

L'appareil comprend des moyens d'émission 11 pour émettre des  
20 impulsions ultrasonores incidentes dans le goujon 1. Les moyens 11 comprennent une capsule ultrasonore d'émission 111 couplée à une première extrémité du goujon 1. Ils comprennent également un générateur d'impulsions à haute tension 112, générant des impulsions périodiques de période T, par exemple égale à 1 ms (milliseconde). Chaque impulsion est constituée d'un  
25 signal oscillant à la fréquence d'excitation de la capsule 111, par exemple 5 MHz. Le signal d'excitation de la capsule 111 est un signal large bande centré autour de 5 MHz, et de période T.

L'appareil comprend également des moyens de réception pour recevoir un signal ultrasonore comprenant au moins un premier écho et un second  
30 écho, qui sont reçus en retour de chaque impulsion ultrasonore émise dans le goujon 1. Ces échos sont produits par réflexion de ladite impulsion ultrasonore, sur une seconde extrémité du goujon, qui est l'extrémité du goujon opposée à celle à laquelle est couplée la capsule ultrasonore d'émission. Les moyens 12

comprennent par exemple une capsule ultrasonore de réception 121 qui est également couplée à la première extrémité du goujon. En variante, les capsules 111 et 121 ne sont qu'une seule et unique capsule d'émission et de réception ultrasonore. Les moyens de réception 12 comprennent également un amplificateur 123 assurant une mise à l'échelle du signal ultrasonore reçu permettant un traitement correct par les circuits disposés en aval.

En aval des moyens de réception 12, l'appareil comprend des moyens de numérisation 14 comprenant un échantillonneur-bloqueur piloté par le signal d'horloge. Ces moyens de numérisation ont pour fonction de numériser le signal ultrasonore reçu par les moyens 12, à une fréquence d'échantillonnage déterminée, qui est par exemple égale à la fréquence du signal d'horloge, c'est à dire 100 MHz. Deux fenêtres temporelles sont définies de manière à produire un premier signal numérique et un second signal numérique respectivement notés S1n et S2n aux figures et dans la suite, et correspondant respectivement au premier écho et second écho précités.

L'appareil comprend également une unité logique 15 comprenant une unité de mémorisation 151 telle qu'une mémoire à accès aléatoire (ou mémoire RAM de l'anglais « Random Access Memory ») pour le stockage de données ainsi qu'une mémoire à lecture seule (ou mémoire ROM, de l'anglais « Read Only Memory ») pour le stockage d'un programme d'application.

L'unité 15 comprend également un premier module de traitement 152 pour traiter les premiers et seconds signaux numériques S1n et S2n de manière à produire une fonction d'intercorrélation entre ledit premier écho et le dit second écho précités.

L'unité 15 comprend également des seconds moyens de traitement 153 pour traiter la fonction d'intercorrélation par interpolation non linéaire au voisinage du maximum de cette fonction, puis par détermination du maximum de la fonction d'intercorrélation ainsi interpolée.

Le maximum de la fonction d'intercorrélation interpolée déterminée par le module 153 peut servir de base au calcul de la valeur du serrage de la pièce par un module de calcul 154 de l'unité 15. Plus précisément, ce maximum permet d'obtenir la mesure précise, c'est-à-dire avec une résolution égale à 1ns, du temps de vol entre les échos S1n et S2n qui est exploitée pour le calcul



de la valeur de serrage. Ce calcul n'est pas décrit en détail ici dans la mesure où une telle description irait au-delà de l'exposé de l'objet de l'invention. Si nécessaire, on peut se référer aux deux documents cités en introduction, notamment le document FR-A-2 708 102, pour de plus amples informations à ce sujet.

L'unité 15 comprend en outre un module d'entrée sortie 155 pour gérer l'interface avec l'opérateur faisant fonctionner l'appareil, cette interface s'effectuant au moyen d'un clavier 16 et d'un écran 17 de l'appareil.

Le fonctionnement de l'appareil selon l'invention va maintenant être décrit ci-dessous en référence au diagramme d'étapes de la figure 2 et aux graphes des figures 3 à 7.

Dans une étape 21, les moyens d'émission 11 émettent à l'instant  $t=0$  une impulsion ultrasonore incidente dans une première extrémité du goujon. Cette impulsion résulte de l'excitation impulsionnelle de la capsule ultrasonore d'émission 111 à l'aide d'un signal d'excitation ayant une fréquence égale à 5 MHz dans l'exemple. La capsule ultrasonore d'émission 111 est couplée au goujon de manière que l'impulsion ultrasonore incidente se propage dans celui-ci sensiblement suivant sa direction longitudinale.

Le graphe de la figure 3 est un échogramme en mode A qui donne l'allure du signal ultrasonore reçu par les moyens de réception 12 dans une étape 22, converti en un signal électrique analogique par la capsule ultrasonore de réception 121, et échantillonné à une fréquence d'échantillonnage par exemple égale à 100 MHz par les moyens de numérisation 14. Dans ces conditions, la condition de Shannon est largement respectée. Le pas d'échantillonnage est égal à 10 ns.

Ce signal est affiché sur l'écran 17 afin de permettre à l'opérateur de repérer visuellement la position temporelle approximative de deux échos ultrasonores compris dans le signal ultrasonore reçu, le cas échéant en modifiant les paramètres de l'affichage à cet effet.

On désigne par 31 et 32 deux échos ultrasonores successifs ainsi compris dans le signal ultrasonore reçu, qui sont appelés échos de fond de pièce en ce sens qu'ils sont générés par la réflexion de l'onde ultrasonore incidente sur la seconde extrémité du goujon. L'opérateur peut constater que,

sur l'exemple représenté, le premier écho 31 est reçu à un instant  $t_1$  sensiblement égal à  $7,2 \mu s$ , et le second écho est reçu à un instant  $t_2$  sensiblement égal à  $14 \mu s$ .

La durée  $t_2 - t_1$  correspond au temps de vol (TOF), c'est-à-dire au temps  
 5 que met l'onde ultrasonore à se déplacer dans le goujon sur une distance correspondant à deux fois sa longueur (une fois pour le trajet aller, et une autre pour le trajet retour après réflexion sur la seconde extrémité du goujon).

Le traitement du signal ultrasonore reçu qui est proposé selon l'invention permet de déterminer efficacement le temps de vol TOF, ainsi qu'il  
 10 va maintenant être exposé.

A l'aide du clavier, l'opérateur a défini au préalable à la mesure les principales grandeurs physiques caractérisant a priori le boulon (longueur) et le matériau (vitesse de propagation d'onde). Ces deux paramètres vont permettre  
 à un logiciel de calculer la position de deux fenêtres temporelles 41 et 42, de  
 15 largeur préprogrammée par défaut et modifiable par la suite, qui vont correspondre respectivement aux instants  $t_1$  et  $t_2$ . Le signal dans la fenêtre 41 correspond au premier signal numérique  $S1_n$  alors que le signal dans la fenêtre 42 correspond au second signal numérique  $S2_n$ . L'opérateur a aussi la possibilité de modifier la position des fenêtres 41 et 42 au cas où les grandeurs  
 20 physiques définies a priori (longueur et vitesse de propagation d'onde) ne sont pas suffisamment précises. Ces signaux numériques, qui ne sont rien d'autre que le signal ultrasonore reçu dans les fenêtres temporelles 41 et 42, et numérisé par les moyens 14 dans une étape 23, sont illustrés par les graphes des figures respectivement 4 et 5. Dans l'exemple représenté, la largeur de  
 25 chaque fenêtre temporelle correspond à 100 échantillons du signal ultrasonore reçu, c'est-à-dire à  $1 \mu s$ .

Dans une étape 24, un premier traitement est alors effectué par le module 152 à partir des premier et second signaux numériques  $S1_n$  et  $S2_n$  représentés aux figures respectivement 4 et 5, afin de produire une fonction  
 30 d'intercorrélacion entre l'écho 31 et l'écho 32. Cette fonction d'intercorrélacion est représentée par le graphe de la figure 6.

A partir du maximum de la fonction d'intercorrélacion, on pourrait déterminer une valeur du temps de vol, qui ressort égale à  $6,91 \mu s$  (micro-

secondes) dans l'exemple représenté. Mais l'invention ne prévoit pas cette détermination du maximum à partir de la fonction d'intercorrélation brute.

Dans une étape 25, un second traitement est en effet appliqué à la fonction d'intercorrélation brute, qui est un traitement par interpolation non linéaire au voisinage du maximum de ladite fonction. On peut alors effectuer la détermination du maximum de la fonction d'intercorrélation interpolée au lieu de la fonction d'intercorrélation brute (i.e., avant interpolation), afin de déterminer une valeur plus précise du temps de vol pour servir de base au calcul de la valeur de serrage de la pièce. Dans l'exemple représenté, cette valeur plus précise ressort égale à 6,904  $\mu$ s.

Dans un exemple avantageux, l'interpolation est une interpolation polynomiale. L'ordre du polynôme d'interpolation est par exemple égal à deux, en sorte que l'interpolation peut être faite à partir de seulement trois valeurs brutes de la fonction d'intercorrélation, à savoir l'échantillon ayant la valeur maximum, l'échantillon précédent, et l'échantillon suivant.

Dans un exemple correspondant au graphe de la figure 7, ces trois valeurs brutes de la fonction d'intercorrélation sont illustrées par des croix, et portent des repères d'abscisse respectivement 130, 129 et 131. L'interpolation permet de générer des valeurs interpolées entre des valeurs brutes de la fonction d'intercorrélation qui sont illustrées par des points à la figure. Les valeurs brutes et les valeurs interpolées forment ce qui est appelé la fonction d'intercorrélation interpolée.

De bonnes performances sont atteintes lorsque la fonction d'intercorrélation interpolée comprend sensiblement dix fois plus de points que la fonction d'intercorrélation brute. Dans l'exemple on génère ainsi neuf valeurs interpolées de la fonction d'intercorrélation qui s'intercalent entre les valeurs brutes de la fonction d'intercorrélation d'indices respectifs 129 et 130, et neuf autres valeurs interpolées de la fonction d'intercorrélation qui s'intercalent entre les valeurs brutes de la fonction d'intercorrélation d'indices respectifs 130 et 131. Tout se passe comme si on disposait d'une fonction d'intercorrélation avec un pas d'échantillonnage égal à 1 ns, c'est-à-dire comme si le signal ultrasonore reçu par les moyens 12 avait été échantillonné avec une fréquence d'échantillonnage égale à 1 GHz.

Dans une étape 26, on effectue ensuite le calcul de la valeur de serrage de la pièce en se basant sur le maximum de la fonction d'intercorrélation déterminé à partir de la fonction d'intercorrélation ainsi interpolée.

5 Dans un mode de réalisation préféré, les moyens d'émission 11 sont adaptés pour émettre périodiquement au moins un nombre déterminé N d'impulsions ultrasonores successives dans la pièce. Les moyens de réception 12 reçoivent donc N signaux ultrasonores correspondants. De plus les moyens de numérisation 14 produisent des échantillons de N premiers signaux  
10 numériques et/ou de N seconds signaux numériques, à partir desdits N signaux ultrasonores reçus. Enfin, le module de traitement 152 effectue une moyenne des valeurs desdits N premiers signaux numériques et/ou desdits N seconds signaux numériques, avant de produire la fonction d'intercorrélation brute.

Dans un exemple préféré, N est égal à 5.

15 Ce "moyennage" des échantillons du signal ultrasonore reçu pour N répétitions ou récurrences de l'impulsion ultrasonore incidente a pour but de fournir des valeurs plus précises et plus stables. Il convient de noter que les instants d'échantillonnage du signal ultrasonore reçu sont en phase d'une récurrence à l'autre. La prise en compte de plusieurs récurrences de l'impulsion  
20 ultrasonore n'a donc pas pour effet de produire un sur-échantillonnage du signal ultrasonore, et, à ce titre, elle ne doit pas être confondue avec les techniques de l'art antérieur décrit en introduction.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle du serrage d'une pièce par ultrasons, comprenant les étapes consistant à :

a) émettre (21) au moins une impulsion ultrasonore incidente dans la pièce ;

5           b) recevoir (22) un signal ultrasonore comprenant au moins un premier écho (31) et un second écho (32) en retour ;

          c) numériser (23) ledit signal ultrasonore à une fréquence d'échantillonnage déterminée, puis définir deux fenêtres temporelles déterminées (41,42) du signal ultrasonore numérisé, de manière à produire un  
10       premier signal (S1n) numérique et un second signal numérique (S2n) correspondant respectivement audit premier écho et audit second écho ;

          d) traiter (24) lesdits premier et second signaux numériques de manière à produire une fonction d'intercorrélacion entre ledit premier écho et ledit second écho ;

15           e) traiter (25) la fonction d'intercorrélacion par interpolation non linéaire au voisinage du maximum de ladite fonction, puis par détermination du maximum de la fonction d'intercorrélacion ainsi interpolée, pour servir de base au calcul (26) d'une valeur de serrage de la pièce.

20           2. Procédé selon la revendication 1, suivant lequel l'interpolation est une interpolation polynomiale.

          3. Procédé selon la revendication 2, suivant lequel l'ordre du polynôme d'interpolation est égal à deux.

25

          4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel les étapes a) à c) sont répétées un nombre déterminé N de fois, et suivant lequel, à l'étape d), il est effectué une moyenne des valeurs des

échantillons des N premiers signaux numériques et/ou des N seconds signaux numériques ainsi produits, avant le traitement d'intercorrélation.

- 5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel la fonction d'intercorrélation interpolée comprend sensiblement dix fois plus de points que la fonction d'intercorrélation avant interpolation.

6. Appareil de contrôle du serrage d'une pièce par ultrasons, comprenant :

- 10 a) des moyens d'émission (11) pour émettre au moins une impulsion ultrasonore incidente dans la pièce ;

b) des moyens de réception (12) pour recevoir un signal ultrasonore comprenant au moins un premier écho (31) et un second écho (32) en retour ;

- 15 c) des moyens de numérisation (14) pour numériser ledit signal ultrasonore à une fréquence d'échantillonnage déterminée, et des moyens pour définir deux fenêtres temporelles (41,42) du signal ultrasonore numérisé, de manière à produire un premier signal numérique et un second signal numérique correspondant respectivement audit premier écho et audit second écho ;

- 20 d) des premiers moyens de traitement (152) pour traiter lesdits premier et second signaux numériques de manière à produire une fonction d'intercorrélation entre ledit premier écho et ledit second écho ;

- 25 e) des seconds moyens de traitement (153) pour traiter la fonction d'intercorrélation par interpolation non linéaire au voisinage du maximum de ladite fonction, puis par détermination du maximum de la fonction d'intercorrélation ainsi interpolée, pour servir de base au calcul d'une valeur de serrage de la pièce.

- 30 7. Appareil selon la revendication 1, dans lequel l'interpolation est une interpolation polynomiale.

8. Appareil selon la revendication 2, dans lequel l'ordre du polynôme d'interpolation est égal à deux.

- 5            9. Appareil selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdits moyens d'émission sont adaptés pour émettre un nombre déterminé N d'impulsions ultrasonores périodiques successives, et dans lequel lesdits premiers moyens de traitement effectuent une moyenne des valeurs des échantillons des N premiers signaux numériques et/ou des N seconds signaux
- 10    numériques produits par lesdits moyens de numérisations à partir de N signaux ultrasonores correspondants reçus par lesdits moyens de réception, avant le traitement d'intercorrélation effectué par lesdits premiers moyens de traitement.

- 15           10. Appareil selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonction d'intercorrélation interpolée générée par lesdits seconds moyens de traitement comprend sensiblement dix fois plus de points que la fonction d'intercorrélation brute générée par lesdits premiers moyens de traitement.

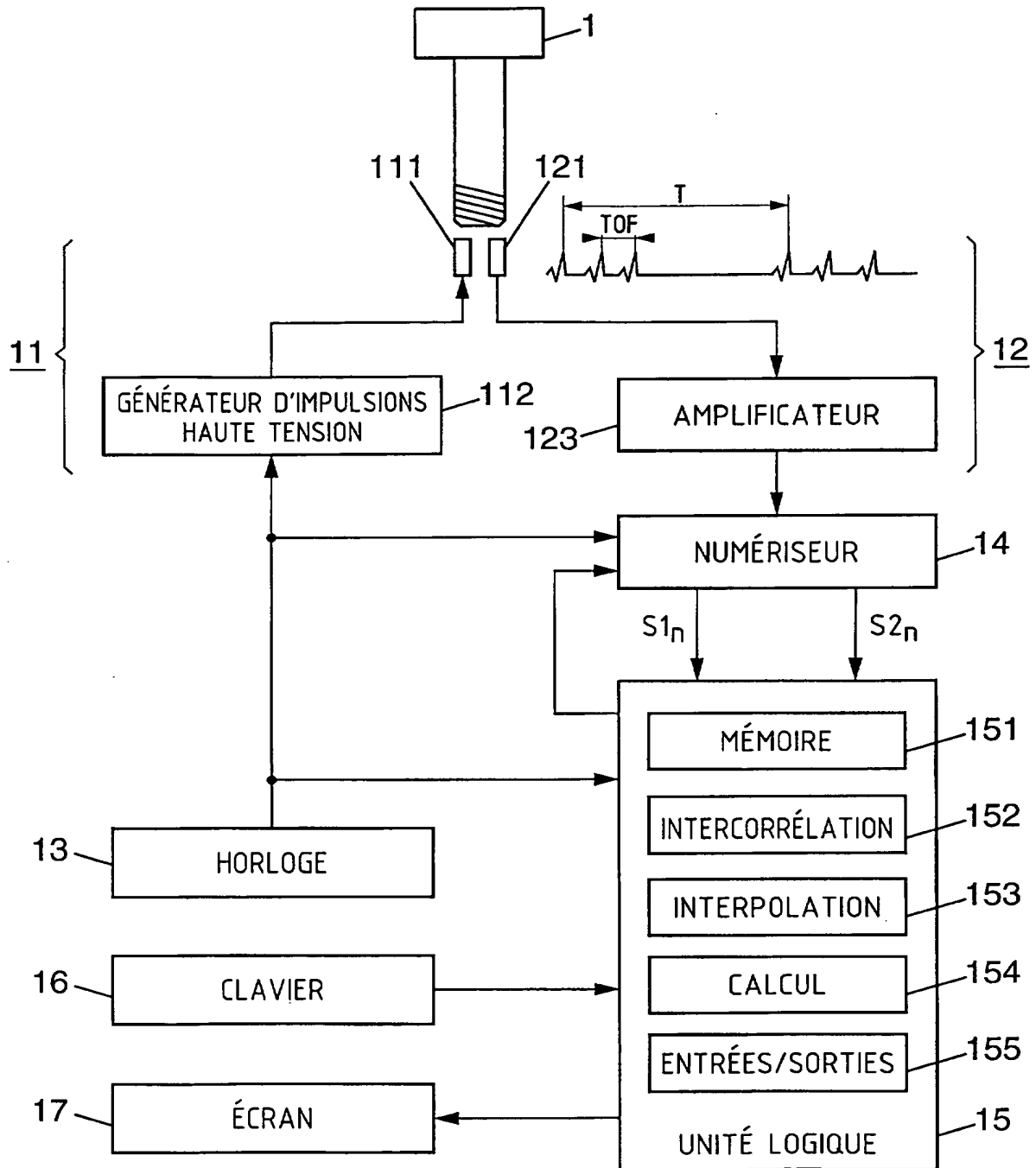
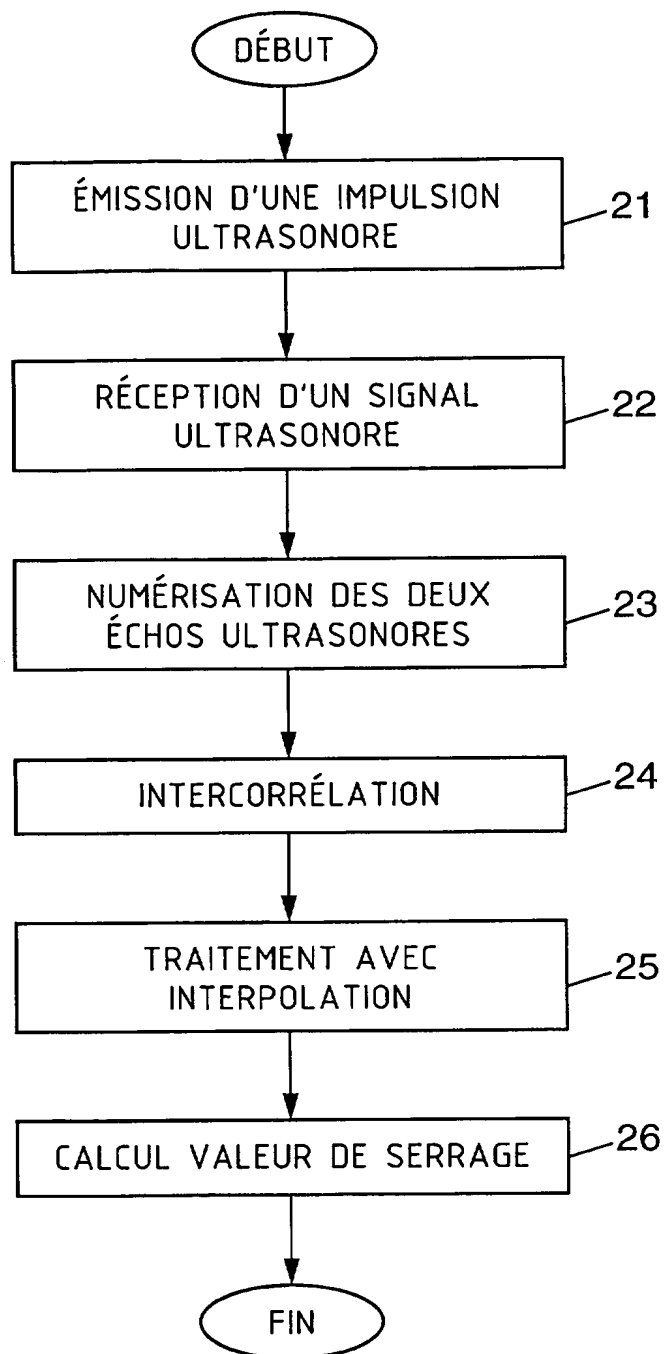


FIG. 1



**FIG. 2**

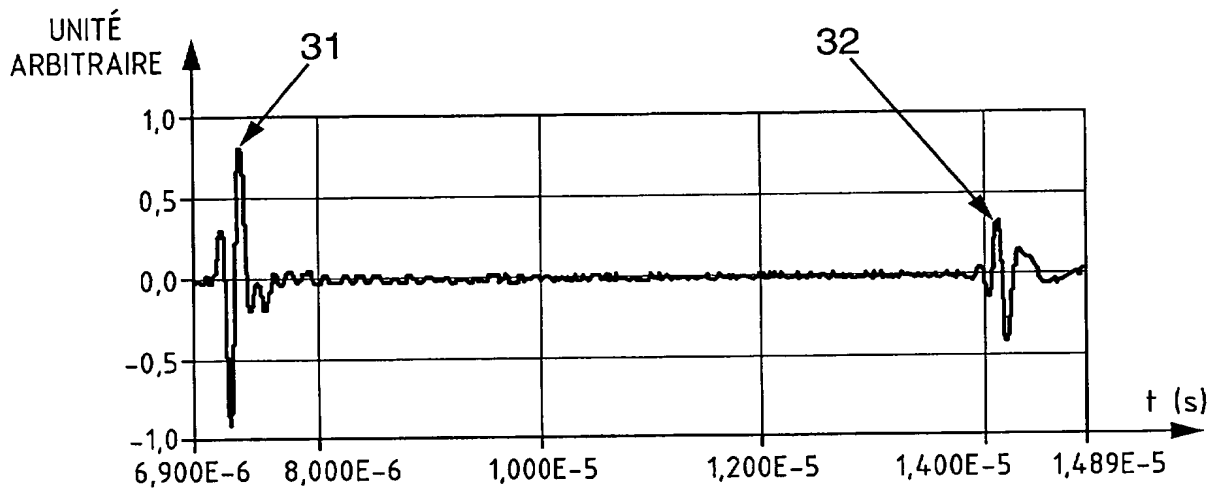


FIG. 3

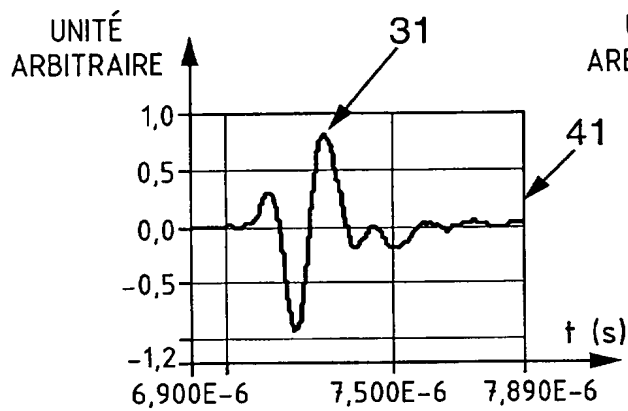


FIG. 4

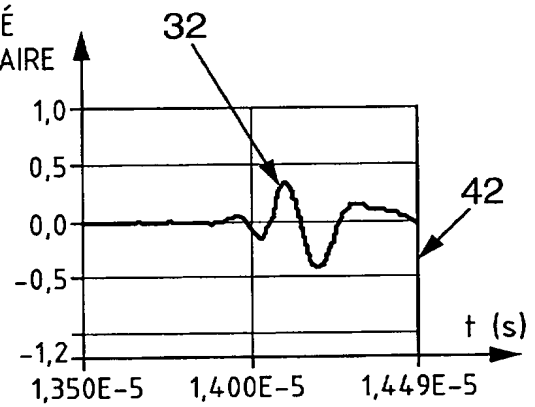


FIG. 5

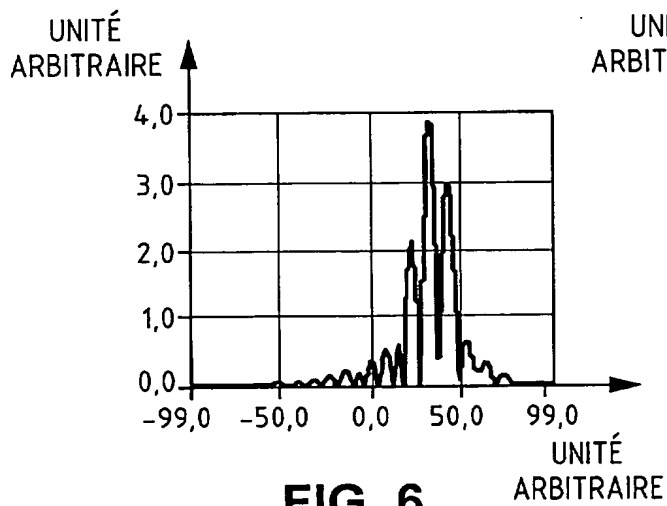


FIG. 6

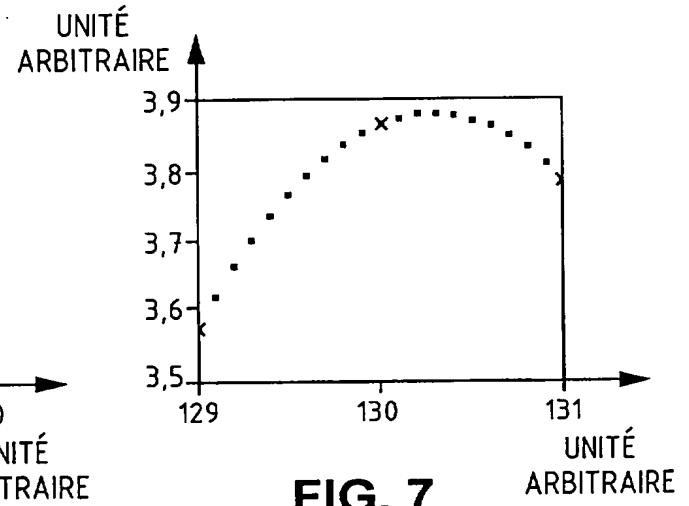


FIG. 7

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 622909  
FR 0211725

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 5 970 798 A (S.M. GLEMAN ET AL.) 26 octobre 1999 (1999-10-26) * le document en entier *	1,6	G01L5/24
A	EP 0 453 650 A (SPS RECHNOLOGIES, INC.) 30 octobre 1991 (1991-10-30) * le document en entier *	1,6	
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)</b>
			G01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 mai 2003		Van Assche, P	
<b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b> X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

# ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0211725 FA 622909

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 23-05-2003

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5970798 A	26-10-1999	AUCUN	
EP 453650 A	30-10-1991	US 5216622 A	01-06-1993
		AU 643723 B2	25-11-1993
		AU 6858291 A	07-11-1991
		BR 9100121 A	26-11-1991
		CA 2032326 A1	28-10-1991
		DE 69032056 D1	26-03-1998
		DE 69032056 T2	10-06-1998
		EP 0453650 A1	30-10-1991
		ES 2114856 T3	16-06-1998
		JP 4230848 A	19-08-1992